

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Erlangen
Röntgen-Abteilung
Direktor: Prof. Dr. med. Norbert Henning

Untersuchungen zur Dosisermittlung bei Pendelbestrahlung

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

vorgelegt von
Willy Lehnert, Erlangen
1957.

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Erlangen
Röntgen-Abteilung
Direktor: Professor Dr. med. Norbert H e n n i n g

" U n t e r s u c h u n g e n
z u r D o s i s e r m i t t l u n g b e i
P e n d e l b e s t r a h l u n g "

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Friedrich-Alexander-Universität
z u E r l a n g e n

vorgelegt von

Willy L e h n e r t

Erlangen

1957

Tag der mündlichen Prüfung: 16. 7. 1957





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548205_0075

Meinen lieben Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Allgemeines und Aufgabenstellung	2
a. Methodik der Pendelbestrahlung	2
b. Aufgabenstellung	2
II. Versuchsanordnung	3
a. Pendelgerät	3
b. Phantom	3
c. Kammer und Dosimeter	4
d. Vorbereitung der Versuche	4
III. Durchgeführte Messungen	5
a. Messungen bei Fokushautabstand 50cm	5
1. Erläuterungen der Diagramme	8
b. Messungen bei konstantem Pendelradius 60 cm	8
1. Erläuterung des Fokusedrehachsenabstand von 60 cm	8
2. Versuchsbedingungen	9
3. Konstruktion der Dosisverlaufskurven	9
4. Abbildungen der Dosisverlaufskurven	11
5. Zusammenfassung der Messergebnisse	20
6. Beispiel der Dosisverteilung in der Längsachse des Phantoms	23
Zusammenfassung	25
Literaturverzeichnis	27

I. Allgemeines und Aufgabenstellung

a) Methodik

Eine besondere Art der Bewegungsbestrahlung stellt die vor allem von Kohler und Mitarbeitern (1) entwickelte Pendelmethode dar. Bei ihr bewegt sich die Röntgenröhre wie ein Pendel auf einer Kreisbahn, deren Achse horizontal gelegen ist. Diese Achse fällt mit dem Schnittpunkt aller Strahlenbündel zusammen. Das ausgeblendete Feld wandert über die Körperoberfläche, wodurch Haut und von der Drehachse weiter weg liegendes Gewebe geschont werden. Am Herd gelingt es jedoch Dosen zu erreichen, die die Toleranzgrenze der Haut wesentlich überschreiten. Mit Hilfe eines beweglichen und anpassungsfähigen Bestrahlungstisches kann die Pendelachse auf jeden gewünschten Herd innerhalb des Patientenkörpers ausgerichtet werden. Entsprechende Fixierungsmöglichkeiten geben die Gewähr, den Patienten ruhig zu lagern und die Einstellung bei nachfolgenden Sitzungen leicht zu wiederholen.

Die Pendelbestrahlung läßt sich im Prinzip als verbesserte und kontinuierliche Kreuzfeuerbestrahlung auffassen. Sie bietet gegenüber der Kreuzfeuermethode den Vorzug einer Erhöhung der Dosis am Herd mit größerer Schonung des gesunden Gewebes und weitgehend vereinfachter Einstelltechnik. Im Vergleich mit den anderen Arten der Bewegungsbestrahlung zeichnet sich die Pendelbestrahlung durch vielseitige Einstellmöglichkeit und damit universelle Anpassung an alle Bestrahlungsfälle aus.

b) Aufgabenstellung

1. Kohler hat für seine Bestrahlung einen Fokushaut-

abstand von 50 cm in Einstellrichtung zu Grunde gelegt. Bei dieser Bedingung sollen Einzelheiten bezüglich der Dosisverteilung bei verschiedenen Pendelwinkeln, Feldgrößen und Pendeltiefen festgestellt werden. Dabei interessiert besonders a) die Dosisverteilung in der Tiefe und b) die Höhe der Oberflächenbelastung.

2. Da es neuerdings jedoch auch üblich ist mit konstanten Fokusedrehachsenabständen zu arbeiten, werden außerdem alle Messungen auch noch bei einem gleichbleibendem Fokusedrehachsenabstand von 60 cm durchgeführt.

II. Versuchsanordnung

a) Zu den Messungen wurde ein Tiefentherapieapparat "STABILIPAN" mit Pendelgerät nach Kohler der Firma Siemens-Reiniger-Werke, Erlangen verwendet. Alle Messungen werden mit konstanter Gleichspannung von 200 kV und konstantem Röhrenstrom von 20 mA und 0,5 mm Cu-Gesamtfilterung durchgeführt.

b) Phantom

Als Phantom diente ein mit Wasser gefüllter Plexiglaszylinder von 30 cm Länge und Durchmesser. Er ruhte auf den Leisten eines entsprechend gebauten Holzgestelles. Durch ein senkrecht zur Zylinderchse angebrachtes Führungsrohr konnte die Messkammer eingeführt und vertikal verschoben werden.

c) Kammer und Dosimeter

Verwendet wurde eine wellenlängenunabhängige Fingerhutkammer aus Luftwandematerial (sog. "Kleinkammer"), welche mit 1 cm^3 Rauminhalt klein genug war, auch bei einem steilen Dosisabfall das Ausmessen eines Dosisfeldes genau genug zu gestalten. Diese Kammer war mittels eines hochisolierten Kabels an ein Iontodor der Firma Siemens-Reiniger angeschlossen, dessen Messbereich für integrierende Messungen man durch Zusammenhalten mit verschiedenen auswechselbaren Kondensatoren in bestimmten Grenzen variieren konnte. Mit einem Zusatzkondensator von 5000 pF hatte das Iontodor vom Nullpunkt bis zum Endausgang einen Messbereich von 0 bis 500 r. Die notwendige Eichung erfolgte mit einem in Röntgeneinheiten geeichten Siemens-Universal-dosimeter, wobei beide Kammern in einem homogenen Strahlungsfeld frei Luft bestrahlt wurden.

Zwei über die Kammer gezogene Gummifingerlinge schützen die Fingerhutkammer gegen das Eindringen von Feuchtigkeit. Die Temperaturschwankungen des Phantomwassers, die das Messergebnis hätten fälschen können, zeigten sich als gering und konnten vernachlässigt werden.

d) Vorbereitung der Versuche

Vor Beginn der Messungen wurde das Phantom auf seinem Stativ genau unter die senkrecht stehende Röhre gebracht und die vertikal verschiebbare Fingerhutkammer so hoch hinaufgeschoben, wie dies möglich war. Auf dem Mittelpunkt der Kammer wurde die Lichtmarke des Visieres und damit der Zentral-

strahl bei senkrechter Einstrahlung eingestellt. Dies konnte geschehen, da das Lichtfeld identisch mit dem ausgestrahlten Röntgenfeld war, was zuvor und in bestimmten Zeitabständen nachkontrolliert wurde. Eine Probeschwingung des Pendels ließ die Richtigkeit der Einstellung in allen Pendelstellungen überprüfen.

Die Geschwindigkeit der Pendelbewegung betrug 1 Minute für 180° . Bei den Bestrahlungen war die Senkrechte stets die Winkelhalbierende. Die Bestrahlungszeit wurde jedesmal so groß gewählt, daß die Röhre eine volle Schwingung ausführte.

III. Durchgeführte Messungen

a) Messungen bei Fokushautabstand 50 cm

In Anlehnung an die von Kohler angegebenen Bestrahlungsbedingungen (3), wurden zunächst Messungen bei einem Fokushautabstand von 50 cm in senkrechter Richtung durchgeführt. Die Hautfelder wurden 2×4 cm, 4×8 cm und 6×12 cm, die Pendeltiefen 2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 12,5 und 15 cm und die Pendelwinkel 120° , 180° und 240° groß gewählt.

Die unter diesen Bedingungen ausgeführten Messungen dienten vor allem:

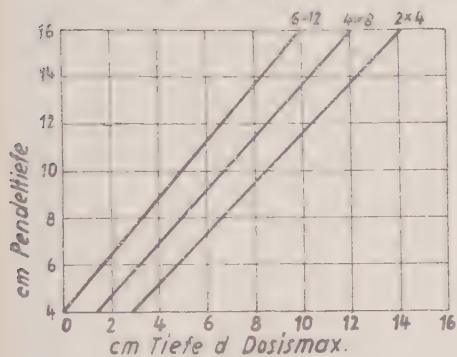
- 1) der Ermittlung der Tiefenlage des Dosismaximums,
- 2) der Bestimmung der Höhe der relativen Herddosis,
- 3) der Bestimmung der Höhe der Oberflächendose.

Die gefundenen Werte werden in drei Diagrammen zusammengestellt und für die Pendelwinkel von 120° , 180° , und 240° gesondert aufgezichnet.

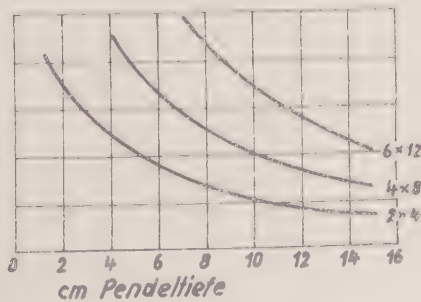
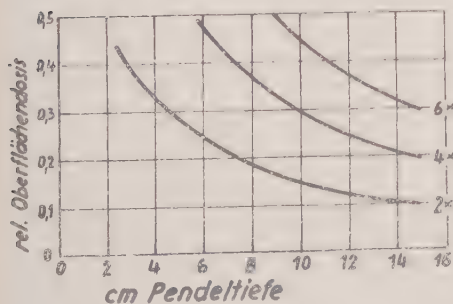
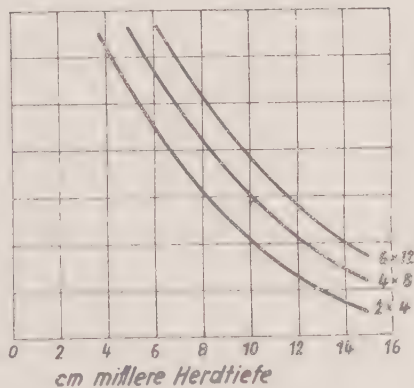
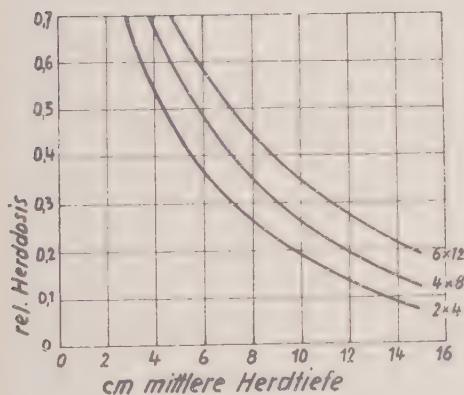
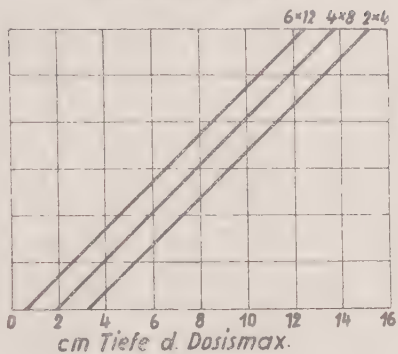
Abb. 1

Phantom 30 cm ∇ FHA 50 cm

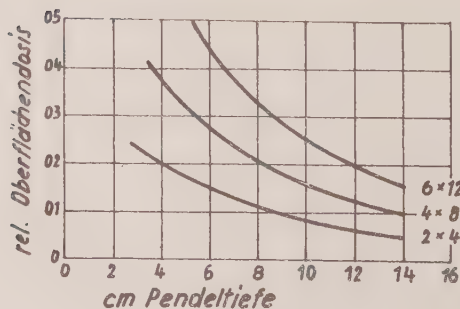
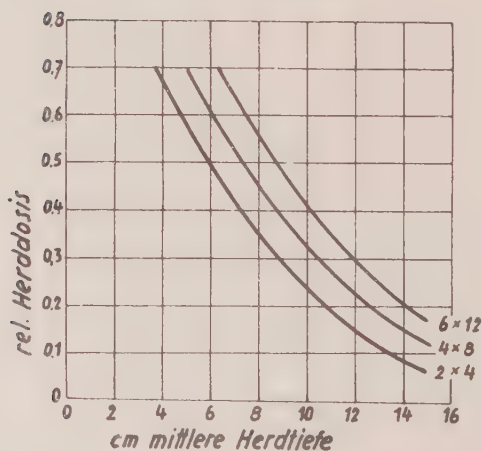
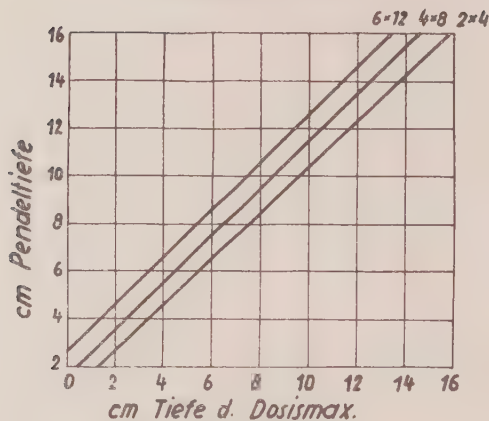
Pendelwinkel 120°



Pendelwinkel 180°



Pendelwinkel 240°



1. Erläuterungen der Diagramme

Diagramm I stellt jeweils eine Beziehung dar zwischen Pendeltiefe und Tiefe des Dosismaximums bei verschiedenen Hautfeldern.

Diagramm II gibt die relative Herddosis in Abhängigkeit von der mittleren Herdtiefe an. Unter mittlerer Herdtiefe versteht man dabei das arithmetische Mittel der im Pendelwinkelbereich vorkommenden Momentanpendeltiefen. Die relative Herddosis ist bezogen auf die Dosis frei Luft in 50 cm Abstand, die mit 1,0 (= 100 %) bezeichnet wurde. Letztere betrug in meinem Falle 72 r/min.

Diagramm III gibt die relative Oberflächendosis, d.h. die Oberflächendosis bezogen auf die Dosis frei Luft in 50 cm Abstand an.

Aus diesen drei Diagrammen lassen sich die erforderlichen Einstellungen zur Bestrahlung eines Herdes leicht ablesen.

Da die Tiefendosis vom Maximum nach der Tiefe steiler abfällt als nach der Oberfläche, empfiehlt es sich, die Pendeltiefe so einzustellen, daß das Dosismaximum in das untere Drittel des Herdes fällt.

b) Messungen bei einem konstanten Pendelradius von 60 cm

1. Ein konstanter Pendelradius kann gewählt werden, um eine Vereinfachung der Geräteeinstellung zu erreichen. Ferner wird bei der Bestrahlung mit konstantem Pendelradius die Korrektur für die laufende Veränderung des Fokushautabstandes überflüssig, die Roßmann (4) mittels des Begriffes "Mittlerer Fokus-

hautabstand²⁶ und eines Korrekturfaktors f_{RW} durchführt. Der Wert von 60 cm für den Pendelradius erschien deshalb angezeigt, weil sich ein Pendelradius von 50 cm in manchen Fällen (adipöse Patienten, tiefliegende Herde) als zu gering erweist. Im Sinn einer weitgehenden Anpassung des Bestrahlungsfeldes an die Tumorausmaße wurden nicht Hautfelder, sondern Achsenfelder gewählt. In den folgenden Messungen bedeutet daher ein Achsenfeld von 5 x 10 cm ein Feld gleichen Ausmaßes im Abstand 60 cm vom Fokus, d.h. jeweils in der Pendelachse.

2. Als Bedingungen wurden also gewählt:

Fokusdrehachsenabstand 60 cm

Pendelwinkel: 120°, 180°, und 240° sowie ergänzend 300°

Achsenfelder: 2 x 10 cm, 3 x 10 cm, 4 x 10 cm, 5 x 10 cm

Pendeltiefen: 2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 cm.

Die Messungen wurden auch hier unter Verwendung eines Plexiglasphantoms von 30 cm Durchmesser, das mit Wasser gefüllt war, durchgeführt.

Durch kontinuierliche Messungen senkrecht in die Tiefe der Winkelhalbierenden wurde eine Kurve aufgestellt, welche den Dosisverlauf im Mittellot in % der Dosis in der Pendelachse angibt.

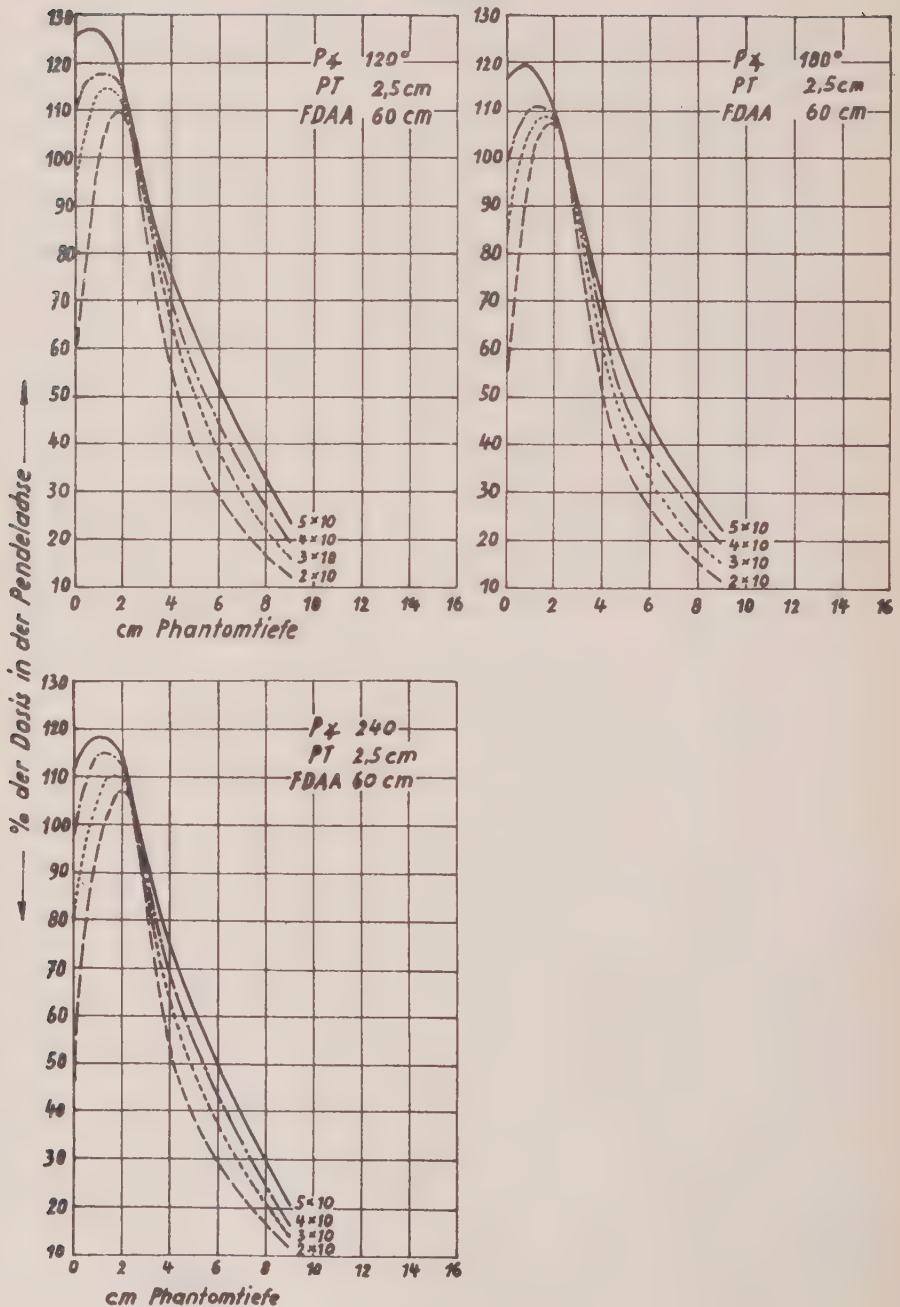
3. Gemessen wurde die Dosis für eine volle Pendelung nach der Tiefe Zentimeter für Zentimeter. Die gefundenen Werte wurden in einer Tabelle zusammengestellt, aus der dann der Verlauf der Tiefendosis graphisch dargestellt wird. Nachfolgendes Beispiel hierzu gibt die Erläuterung.

Pendelwinkel 240° , Pendeltiefe 15 cm, Achsenfeld 4×10 cm,
Bestrahlungszeit 2 Minuten, 40 Sekunden.

Phantomtiefe in cm	gemessene Dosis in r	% der Dosis in der Pendelachse
1,0	18,5	76
2,0	19,0	79
3,0	19,5	81
4,0	20,0	83
5,0	20,4	84
6,0	19,8	82
7,0	19,4	80
8,0	19,2	79
9,0	19,0	78
10,0	19,5	81
11,0	22,4	93
12,0	24,5	101
13,0	25,5	105
14,0	25,6	106
15,0	24,2	100
16,0	20,4	85
17,0	16,8	70
18,0	14,4	60
19,0	12,0	50
20,0	9,0	37
21,0	7,0	29
22,0	5,5	23

4. Abbildungen 3 - 11 stellen die Dosisverlaufskurven
dar.

Abb. 3



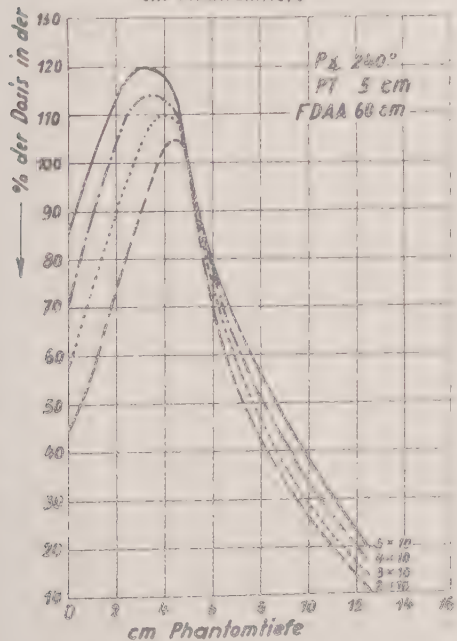
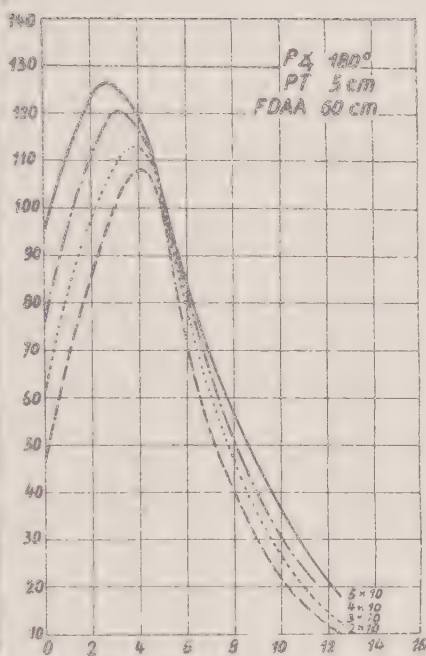
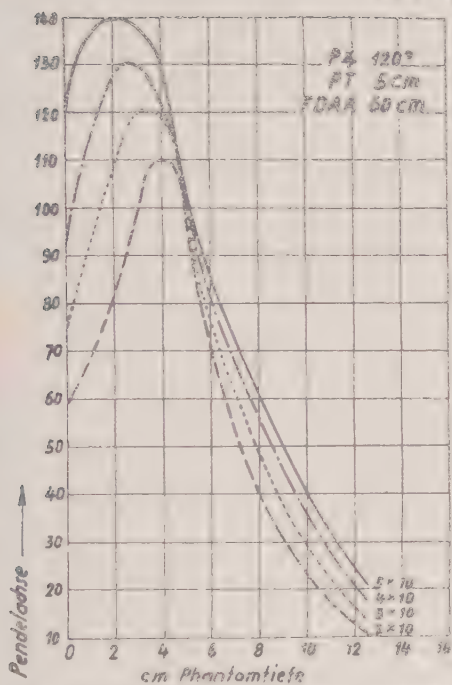


Abb. 5

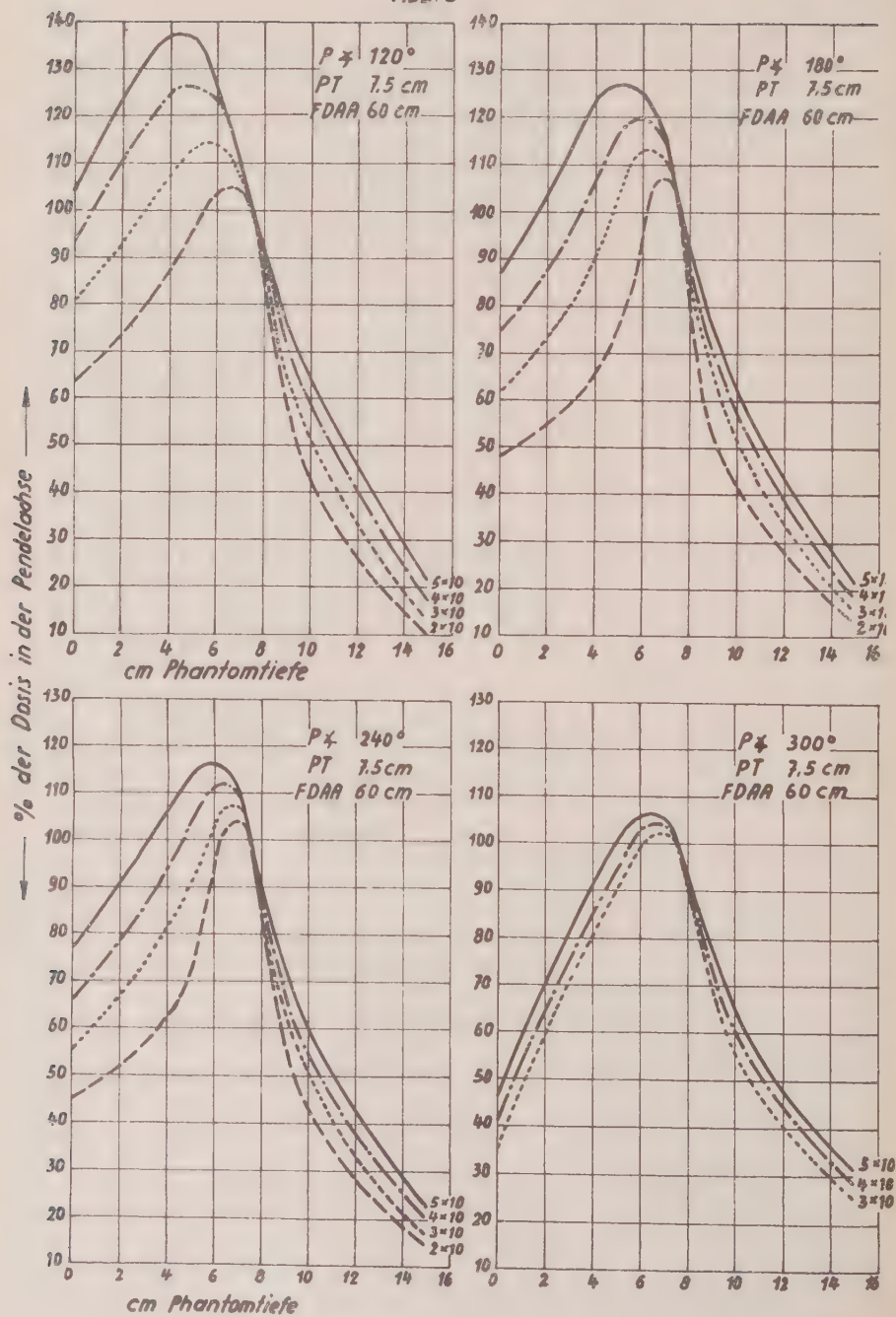


Abb. 6.

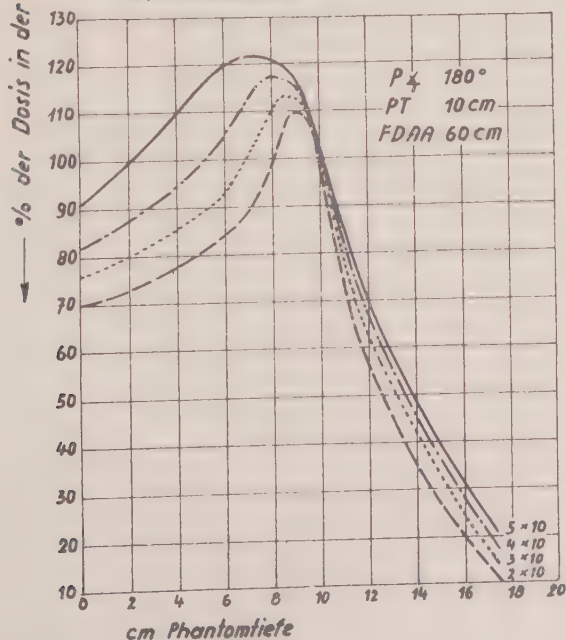
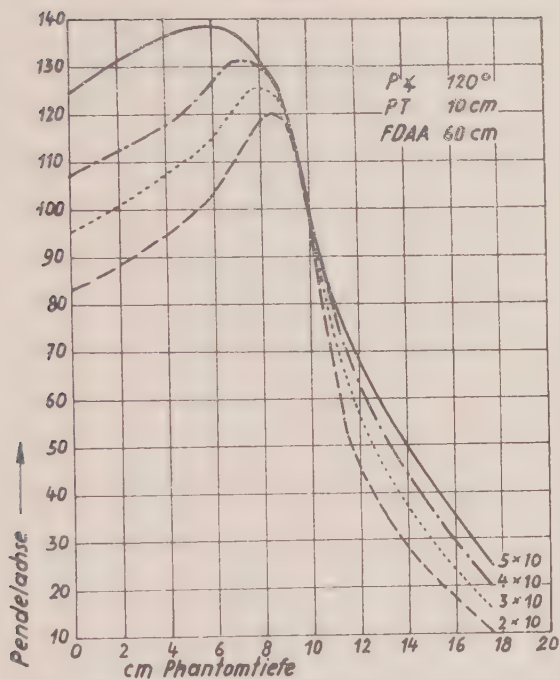


Abb. 7

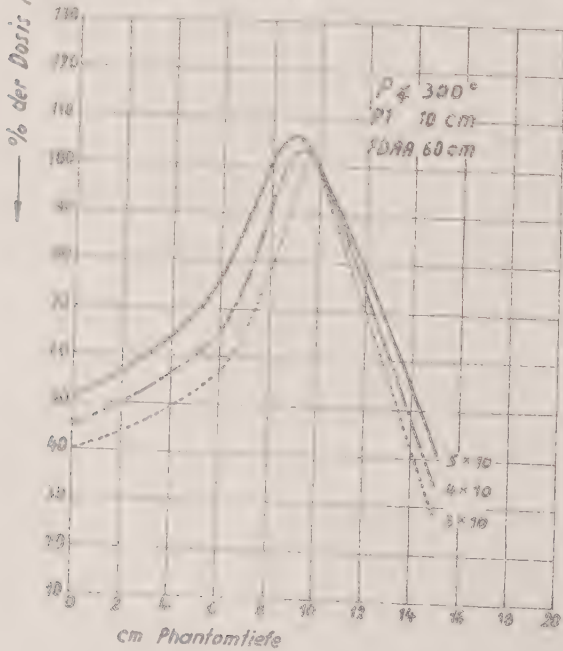
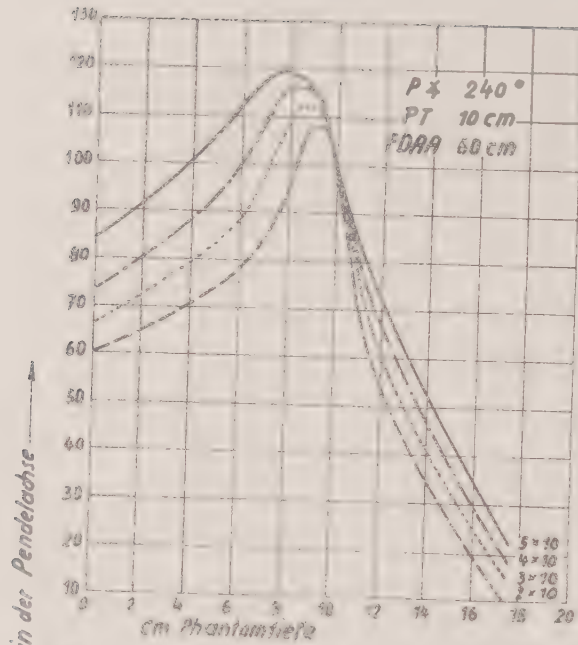


Abb. 8

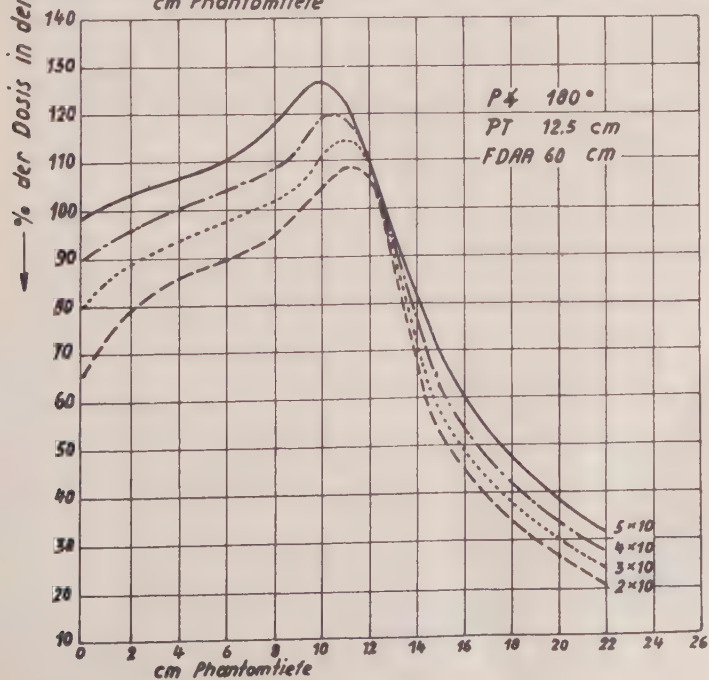
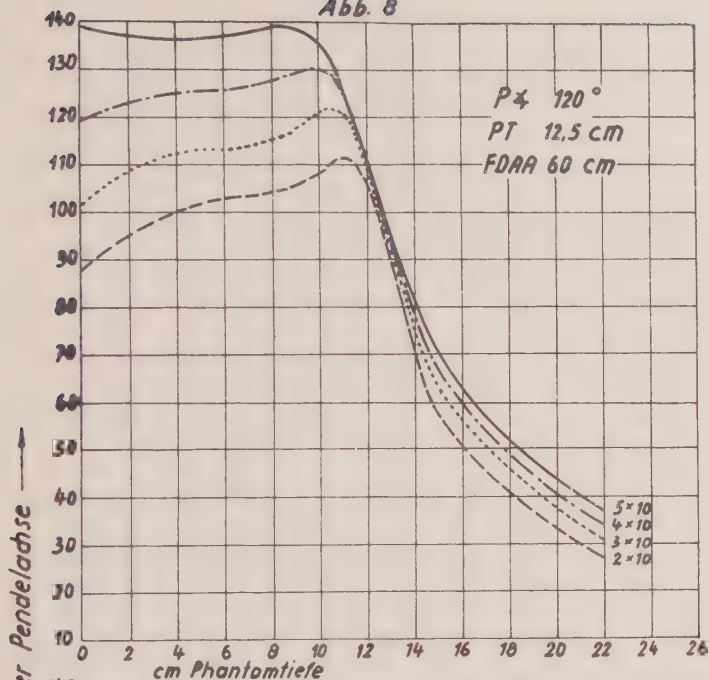


Abb. 9.

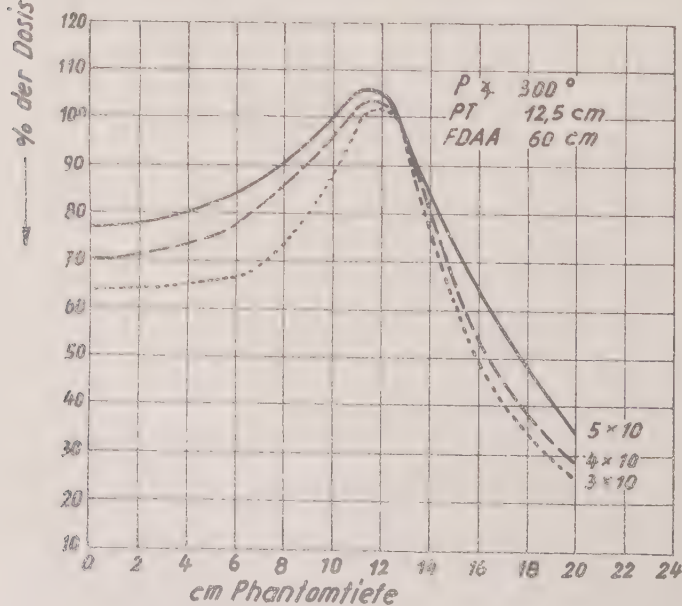
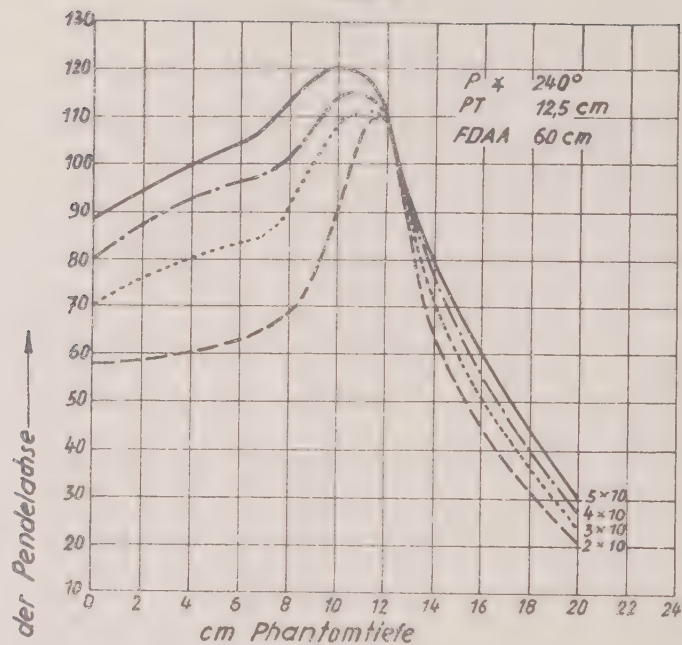


Abb. 10

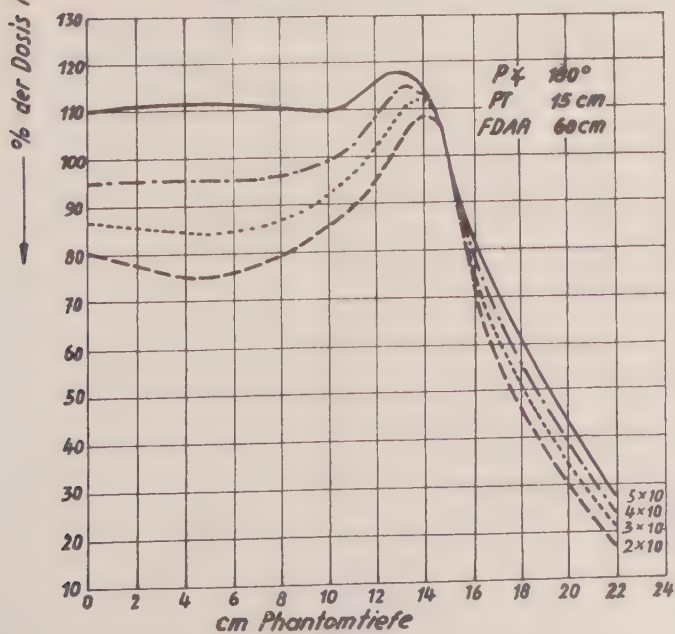
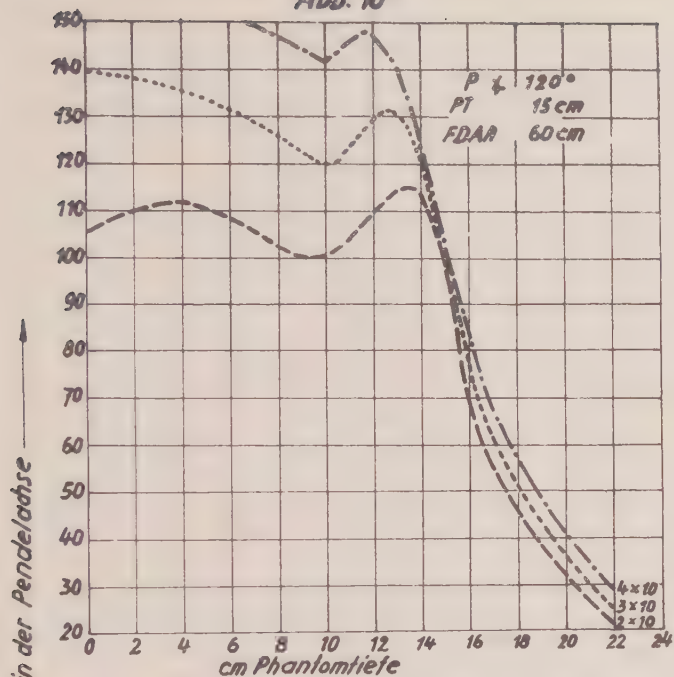
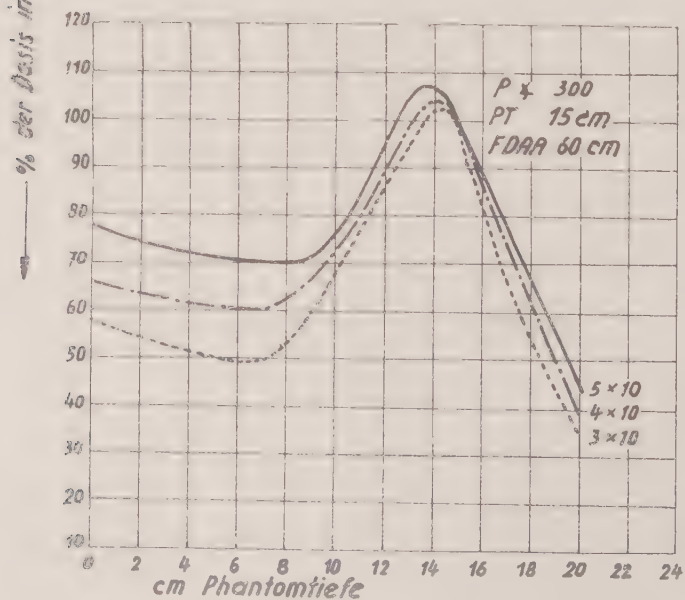
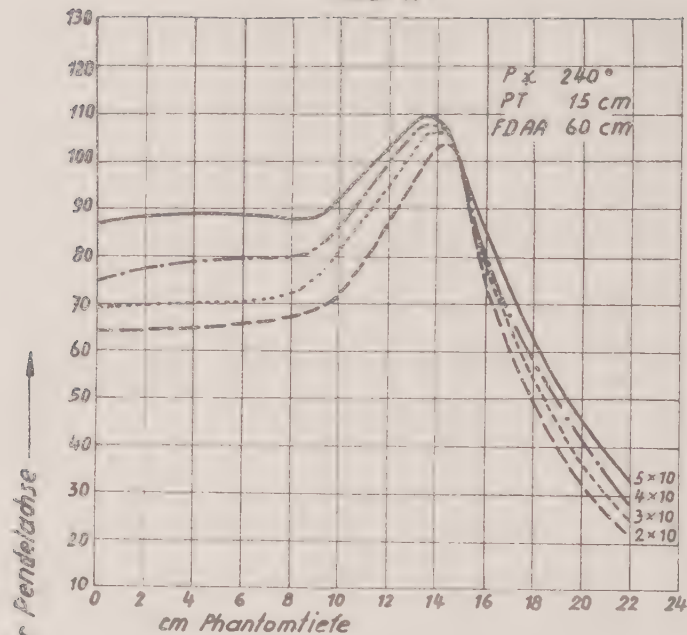


Abb. 11



5. Zusammenfassung der Meßergebnisse

Bei der Betrachtung dieser Dosisverlaufskurven lassen sich die von Wachsmann und Barth (1) beschriebenen Eigenschaften solcher Kurven leicht wiederfinden.

Bestrahlungen mit großen Pendelwinkeln sind bei geringen Herdtiefen und großen Körperdurchmessern nicht zu empfehlen, da eine Vergrößerung des Pendelwinkels über ein bestimmtes Verhältnis kein nennenswertes Mehr an Dosisleistung am Herd einbringt. Das Verhältnis größter zu kleinster Momentanherdtiefe soll nach Möglichkeit das Verhältnis 2:1 nicht überschreiten.

Die Meßergebnisse sind darüber hinaus nach drei Gesichtspunkten ausgewertet und für jeden Pendelwinkel in drei Diagrammen zusammengefaßt. Abb. 12 - 13.

Diagramm I stellt jeweils eine Beziehung dar zwischen Pendeltiefe und Tiefe des Dosismaximums her.

Diagramm II gibt die zu erwartende Herddosis bei verschiedener mittlerer Herdtiefe an. Der Wert 1,0 = 100 % und ist die Dosis frei Luft in 60 cm Abstand.

Diagramm III veranschaulicht die Hautbelastung bei verschiedenen Pendeltiefen.

Aus diesen Angaben lassen sich die Bestrahlungsbedingungen für bestimmte Herdlagen gut herausfinden. Der Verlauf der Dosis im Mittellot läßt sich aus den Abbildungen 3 - 11 ansehen.

Abb. 12

Phantom 30 cm ϕ

FDAA 60 cm

Pendelwinkel 120°

Pendelwinkel 180°

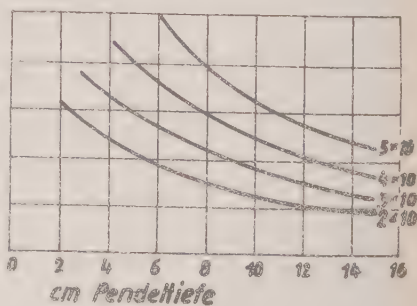
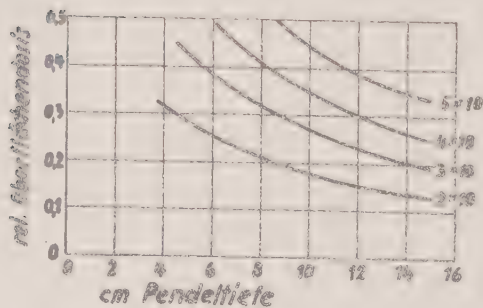
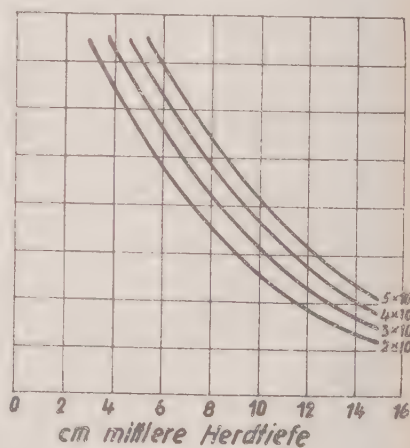
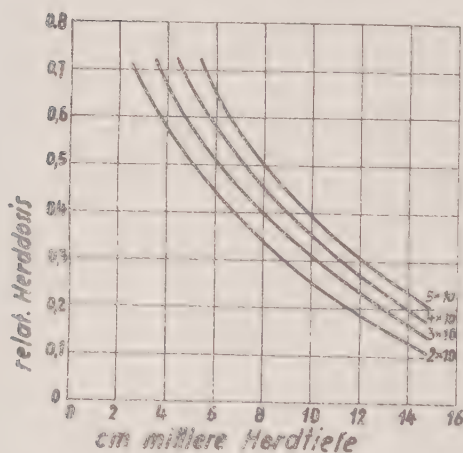
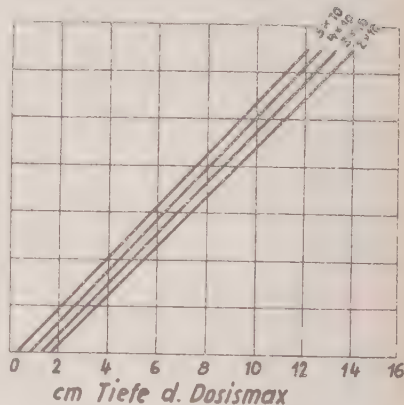
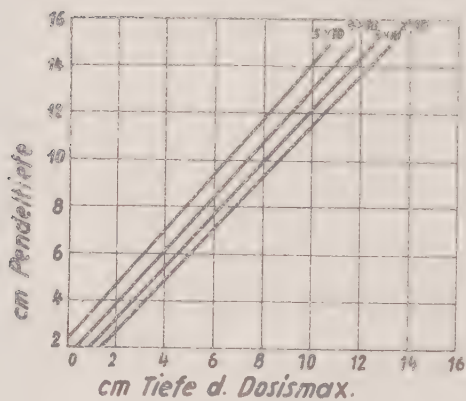
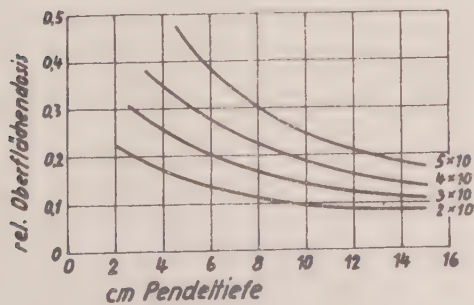
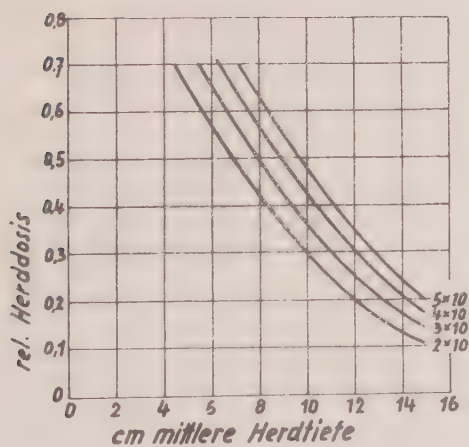
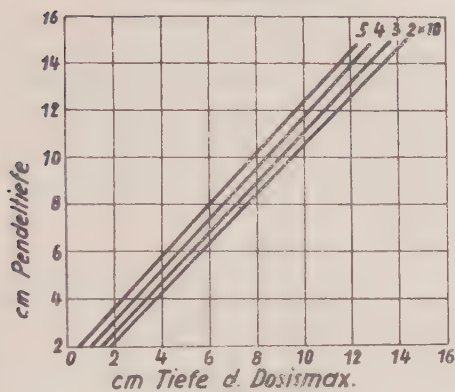


Abb. 13 Phantom 30 cm ϕ FDAA 60 cm

Pendelwinkel 240°



6. Es wäre noch interessant zu wissen, wie die Isodosen in der Längs- und Querachse verlaufen. Hierzu ein Beispiel einer Isodosenkurve in der Längsachse, wobei das Phantom parallel Zentimeter für Zentimeter vom Mittelstrahl längsverschoben und die Dosis gemessen wurde. Bei einem 30 cm Phantom sind folgende Bedingungen gewählt:

60 cm Fokusdrehachsenabstand, Pendeltiefe 10 cm, Pendelwinkel 180° , Herdfeld 3×10 cm. Die Isodosen werden in Prozent angegeben, wobei die maximale Dosis 110% beträgt. Die Ausmessung von Isodosen sowohl in der Längs- als auch in der Querachse ist notwendig, um ein Bild der räumlichen Dosisverteilung zu erhalten. Dies soll jedoch einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben.

Abb. 14

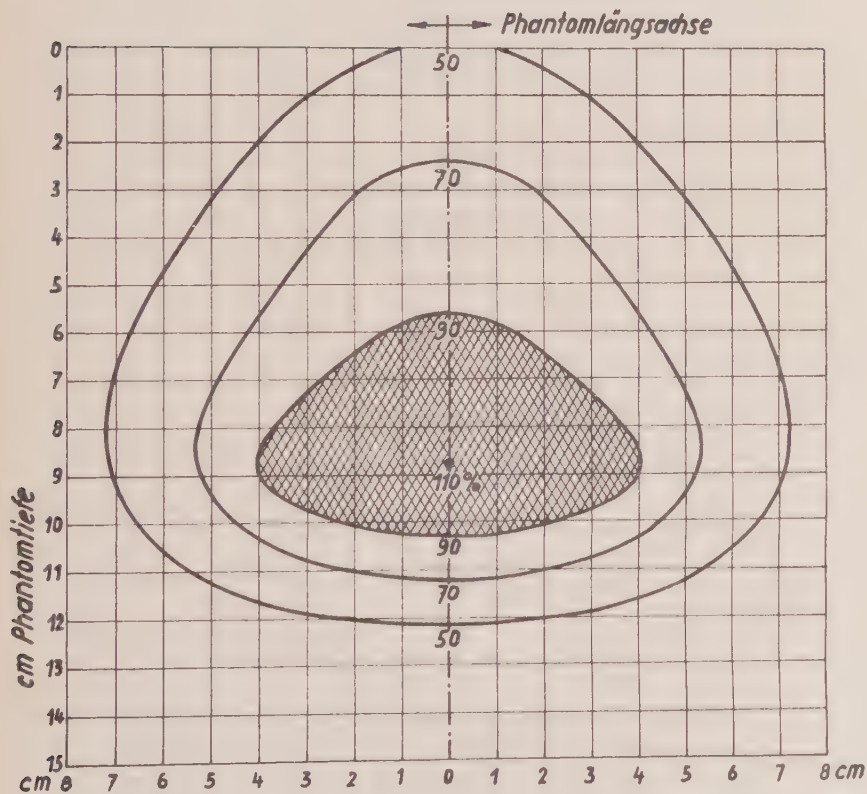
Beispiel der Dosisverteilung

$P \neq 180^\circ$

FDAA 60cm

PT 10 cm

Feld: 3×10 cm



Zusammenfassung

=====

Nach allgemeiner Betrachtung über die Vorzüge der Pendelbestrahlung wird als Aufgabe vorliegender Arbeit die Ausmessung der Röntgendosis senkrecht im Mittelstrahl und ein Verfahren der Bestimmung von Dosismaximumanhebung von der Pendelachse sowie Dosisbestimmung an Herd und Oberfläche genannt.

Durch entsprechende Vorbereitungen und gewissenhafte Durchführung der Messungen wurden Fehler weitgehend ausgeschlossen. Nach den verschiedenen Versuchsbedingungen wurde die Arbeit in folgende zwei Abschnitte gegliedert.

a) Messungen bei konstantem Fokushautabstand 50 cm.

Es wurden für die Pendelwinkel 120° , 180° und 240° je drei Diagramme aufgestellt, welche gestatten, eine möglichst günstige Bestrahlungsbedingung für beliebig gelegene Herde zu finden. Aus dem Diagramm I ersieht man die Tiefe des Dosismaximums bei verschiedenen Pendeltiefen. Das zweite Diagramm zeigt die Herddosis bei verschiedenen mittleren Herdtiefen und das dritte Diagramm die auftretende Oberflächenbelastung.

b) Messungen bei konstantem Fokusedrehachsenabstand 60 cm.

Die in der Winkelhalbierenden aufgestellten Dosisverlaufskurven zeigten keine besonderen Abweichungen von den grundsätzlichen Eigenschaften solcher Dosisverlaufskurven. Hervorzuheben ist jedoch der steilere Abfall der Kurven gegen die Tiefe zu, in Bezug auf die Festlegung des Dosismaximums im Herd. Die Messergebnisse gestatten die Aufstellung einer Bestrahlungsanleitung, welche sich auf drei Gesichtspunkte konzentrierte:

Erstens Bestimmung der Tiefe des Dosismaximums bei verschiedenen Pendeltiefen.

Zweitens die Herddosis bei verschiedensten mittleren Herdtiefen und drittens wurde die auftretende Oberflächendosis bei verschiedenen Pendeltiefen nochmals gesondert bestimmt. Eine Messung der Dosisverteilung in der Längsachse des Phantoms gibt einen informatorischen Überblick über die Form der zu erwartenden Isodosen.

Literaturverzeichnis

1. WACHSMANN, F. und G. BARTH, "Die Bewegungsbestrahlung",
Thieme Stuttgart (1953), S. 92
2. WACHSMANN, F., "Die Bewegungsbestrahlung", S. 12
Urban & Schwarzenberg.
3. KOHLER, A. und E. BENDER, "Messungen an kreiszylindrischen
Phantomen", Strahlungs therapie 72 (1943) :289
4. ROSSMANN, K., "Grundlagen der Praxis der Bewegungs-
bestrahlung", Band II, S. 124.

Herrn Professor Dr. N. Henning danke ich für die Übernahme des Referates. Meinen besonderen Dank möchte ich Herrn Doz. Dr. F. Wachsmann für die Überlassung des Themas, für seine wertvollen Hinweise und tatkräftige Unterstützung bei auftretenden Schwierigkeiten aussprechen. Vielen Dank auch den Siemens-Reiniger-Werken, Erlangen für die in technischer Hinsicht jederzeit großzügige Unterstützung.

L e b e n s l a u f

=====

Ich, Willy Peter L e h n e r t , wurde am 10. 7. 1931 in Botenwald, CSR als Sohn des prakt. Arztes Dr. med. Wilhelm Lehnert und seiner Ehefrau Elfriede geb. Kohlmeier geboren.

Ich besuchte die Volksschule in meinem Geburtsort, ab 1941 die Oberschule für Jungen in Freiberg. 1944 mußten wir flüchten und konnte erst nach unserer Aussiedelung Ende 1946 in die Oberrealschule in Scheinfeld eintreten. 1951 bestand ich die Reifeprüfung und begann im Wintersemester 1951/52 mein Medizinstudium an der Friedrich-Alexander-Universität zu Erlangen. 1954 bestand ich die Ärztliche Vorprüfung und am 9. 7. 1957 mein medizinisches Staatsexamen.

